

УДК 663.63:631.81

ВПЛИВ ДОЗ ДОБРИВ НА БІОЕНЕРГЕТИЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЦУКРОВОГО

ІВАНІНА В.В.,
д.с.-г.н, зав. лаб.;

СИПКО А.О.,

к.с.-г.н., с.н.с.;

СТРІЛЕЦЬ О.П.,

к.с.-г.н., с.н.с.;

ЗАЦЕРКОВНА Н.С.,

к.с.-г.н., с.н.с.;

СІНЧУК Г.А.,

н.с. (Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України);

ІВАНОВА О.Г.,

с.н.с.;

КОРИТНИК Р.М.,

с.н.с.;

КОПЧУК К.М.,

м.н.с.; (Іванівська дослідно-селекційна
станція)

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України, вул.
Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: v_ivanina@meta.ua

Вступ. Упродовж останніх десятиліть альтернативна енергетика набуває дедалі ширшого розмаху [2]. Стрімке зростання населення, глобальні кліматичні зміни потребують пошуку джерел енергії здатних забезпечити енергетичні потреби людства, не спричиняючи значного навантаження на навколишнє середовище.

Сорго цукрове є однією з перспективних біоенергетичних культур, з сировини якого можна виробляти біоетанол, тверде паливо (брикети, пелети та ін.) та біогаз. За середньої врожайності 40 т/га з 1 гектара можна отримати 6–12 т спирту і 12–15 т побічної продукції [3]. Рослини сорго цукрового добре адаптовані до посушливих умов вирощування, його транспіраційний коефіцієнт становить 300, тоді як кукурудзи — 450, сої — 500, люцерни — 700. За посухо- та солестійкістю сорго цукрове займає перше місце в світі серед сільськогосподарських культур і здатне давати високі врожаї біомаси в усіх природно-кліматичних зонах України — від Степу до Полісся [4]. За даними державних сортовипробувальних станцій АР Крим, Херсонської, Миколаївської, Одеської областей, врожайність сорго цукрового на богарі перевищує врожайність куку-

рудзи на 19–58%, за зрошення — на 14–15% [8].

Отримання високих врожаїв біомаси сорго цукрового потребує достатнього мінерального живлення. Застосування добрив, оптимізація доз та способів їх внесення посилює фотосинтетичну активність, забезпечує інтенсивний ріст та розвиток рослин, істотно підвищує його врожайність [7]. Максимальних параметрів урожайності біомаси сорго цукрового досягали в фазі молочно-воскової стиглості, яка за умов зрошення становила понад 2450 г/м² [1]. У процесі накопичення біомаси рослини сорго цукрового інтенсивно поглинали калій, менш інтенсивно — азот і фосфор [5].

Метою досліджень було встановити оптимальні дози мінеральних добрив під сорго цукрове, які забезпечують максимальний вихід біоетанолу та інших видів біологічного палива за вирощування в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України.

Матеріали та методика. Наукові дослідження проводили впродовж 2016–2020 рр. у тимчасовому польовому досліді на чорноземі типовому важкосуглинковому Іванівської дослідно-селекційної станції ІБКІЦБ.

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий важкосуглинковий, який характеризується наступними агрохімічними показниками орного (0–30 см) шару: рН водне — 6,6–7,0, вміст гумусу за Тюрнімом — 4,5–4,7%, лужногидролізованого азоту — 180 мг/кг ґрунту, рухомих P₂O₅ і K₂O за Чиріковим — 19–20 і 100–110 мг/кг ґрунту, ємність поглинання обмінних катіонів — 26–31 мг-екв/100 г ґрунту.

Розмір посівної ділянки — 100 м², облікової — 73,1 м². Розміщення повторень — ярусне чотирикратне.

В дослідженнях вирощували сорт Силосне 42 та гібрид Нектарний. Мінеральні добрива вносили з осені під глибоку оранку в формі амонійної селітри, суперфосфату простого гранульованого та калію хлористого. Вихід біоетанолу, твердого палива та енергетичну ємність біомаси сорго цукрового визначали за методичними рекомендаціями з вирощування й перероблення цукрового сорго [6].

Результати і обговорення. Вирощування сорго цукрового в умовах недостатнього зволоження (зона Лісостепу) на чорноземі типовому середньосуглинковому Іванівської ДСС показало, що мінеральне живлення є

Таблиця 1.

Динаміка накопичення цукрів у стеблах сорго цукрового за різних доз добрив, ДСС, 2016–2020 рр., %.

№ вар	Сорт (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Фаза росту і розвитку		
			цвітіння	молочна стиглість	воскова стиглість
1	Силосне 42	Без добрив (контроль)	4,8	9,3	10,3
2		N60P60K60	5,0	10,1	10,9
3		N90P90K90	5,4	11,3	11,6
4		N120P120K120	5,7	11,9	12,6
5	Нектарний	Без добрив (контроль)	5,8	12,2	13,2
6		N60P60K60	6,1	13,0	13,7
7		N90P90K90	6,5	13,9	14,4
8		N120P120K120	7,0	14,8	15,1
НІР05 (фактор А)			0,03	0,02	0,03
НІР05 (фактор В)			0,05	0,06	0,04
НІР05 (фактор А+В)			0,07	0,06	0,06

впливовим чинником, який визначає перебіг процесів накопичення цукрів у рослинах, їх біологічну та енергетичну продуктивність. За вирощування сорту Силосне 42 на природному фоні родючості вміст цукрів у стеблах сорго цукрового у фазі цвітіння становив 4,8%, молочної стиглості — 9,3%, воскової стиглості — 10,3%, гібриду Нектарний — 5,8%, 12,2% та 13,2%, відповідно. Сівба високопродуктивним гібридом Нектарний дозволила збільшити накопичення цукрів у рослинах на момент воскової стиглості на 2,9% (табл. 1).

Інтенсивність накопичення цукрів у рослинах значно зростала при застосуванні мінеральних добрив. За дози добрив N60P60K60 під глибоку оранку сорт Силосне-42 у фазі виходу в трубку містив цукрів у стеблах — 5,0%, молочної стиглості — 10,1%, воскової стиглості — 10,8%; гібрид Нектарний — відповідно 6,1%, 13,0% та 13,7%. Помірна доза мінеральних добрив підвищила вміст цукрів порівняно з контролем без добрив у фазі виходу в трубку — на 0,2–0,3%, молочної стиглості — на 0,8%, воскової стиглості — на 0,5–0,6%. При цьому гібрид Нектарний за вмістом цукрів перевищив сорт Силосне-42 у фазі виходу в трубку — на 1,1%, молочної стиглості — на 2,9%, воскової стиглості — на 2,8%.

За збільшення дози мінеральних добрив до N90P90K90 вміст цукрів порівняно з контролем без добрив підвищився у фазі виходу в трубку — на 0,6–0,7%, молочної стиглості — на 1,7–2,0%, воскової стиглості — на 1,2–1,3%. За підвищеної дози мінеральних добрив гібрид Нектарний зберігав перевагу в накопиченні цукрів порівняно з сортом Силосне 42, збільшивши їх вміст у стеблах у фазі воскової стиглості на 2,8%.

Позитивна динаміка накопичення цукрів у рослинах сорго цукрового зберігалась і за високих доз мінеральних добрив. За внесення N120P120K120 сорт Силосне-42 у фазі виходу в трубку містив цукрів у стеблах — 5,7%, молочної стиглості — 11,9%, воскової стиглості — 12,6%; гібрид Нектарний — 7,0%, 14,8% та 15,1%, відповідно. Високий фон мінерального живлення забезпечив максимальні показники накопичення цукрів у рослинах сорго цукрового з перевагою до контролю без

Таблиця 2.
Продуктивність сорго цукрового за різних доз добрив ІДСС, 2016-2020 рр.

№ вар	Сорт (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Вміст сухої речовини, %		Врожайність зеленої маси, т/га
			листки	стебла	
1	Силосне 42	Без добрив (контроль)	29,5	19,9	55,2
2		N60P60K60	30,5	20,8	58,3
3		N90P90K90	32,1	22,3	64,7
4		N120P120K120	33,3	23,3	72,6
5	Нектарний	Без добрив (контроль)	30,5	21,6	62,8
6		N60P60K60	31,4	22,4	65,8
7		N90P90K90	32,9	23,7	73,8
8		N120P120K120	34,8	24,8	80,9
НІР05 (фактор А)			0,4	0,5	1,2
НІР05 (фактор В)			0,7	0,9	1,6
НІР05 (фактор А+В)			1,1	1,3	2,9

добрив у фазі воскової стиглості на 1,9–2,3%. Вирощування гібриду Нектарний збільшило вміст цукрів порівняно з сортом Силосне-42 на 2,5%.

Застосування добрив позитивно позначилось на біологічній врожайності сорго цукрового. За дози мінеральних добрив N60P60K60 врожайність зеленої маси сорту Силосне-42 у фазі воскової стиглості становила 58,3 т/га, гібриду Нектарний — 65,8 т/га з перевагою до контролю без добрив — 3,1 та 3,0, відповідно. За вирощування гібриду Нектарний врожайність була вищою на 7,5 т/га (табл. 2).

Рослини сорго цукрового істотно нарощували врожайність біомаси за високих доз мінеральних добрив. За дози N90P90K90 врожайність зеленої маси в фазі воскової стиглості порівняно з дозою N60P60K60 зростає на 6,4–8,0 т/га, за дози N120P120K120 — на 14,3–15,1 т/га.

Найвищу біологічну врожайність сорго цукрового отримали за вирощування гібриду Нектарний і внесення мінеральних добрив під глибоку оранку в дозі N120P120K120—80,9 т/га з перевагою до контролю 18,1 т/га. В умовах недостатнього зволоження

Таблиця 3.
Вихід біопалива та енергії з сорго цукрового за різних доз добрив, ІДСС, 2016-2020 рр.

№ вар	Сорт (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Вихід, т/га			Вихід енергії, ГДж/га		Всього енергії, ГДж/га
			соку	біоетанолу	твердого палива	біоетанол	тверде паливо	
1	Силосне 42	Без добрив (контроль)	25,5	1,9	12,7	49	203	252
2		N60P60K60	27,2	2,1	13,9	53	223	276
3		N90P90K90	30,4	2,5	16,2	62	259	321
4		N120P120K120	34,5	2,9	18,8	73	300	373
5	Нектарний	Без добрив (контроль)	30,9	2,6	15,4	65	246	311
6		N60P60K60	32,5	2,8	16,8	69	269	338
7		N90P90K90	37,1	3,2	19,5	81	312	393
8		N120P120K120	41,2	3,7	22,2	91	355	446

на ґрунтах високого фону природної родючості (чорноземі типовому) сорго цукрове позитивно відгукувалось на внесення високих доз мінеральних добрив. Послідовне збільшення сумарної дози мінеральних добрив від 180 до 360 кг/га NPK супроводжувалося підвищенням біологічного врожаю та вмісту цукрів у стеблах сорго цукрового. Це є свідченням того, що рослини сорго цукрового здатні продуктивно засвоювати й переробляти значно більші дози мінеральних добрив, нагромаджуючи при цьому біологічну продуктивність. Це дає підстави вважати, що при визначенні оптимальних доз мінеральних добрив під сорго цукрове, варто керуватись екологічними та економічними чинниками, а не абсолютними показниками біологічної врожайності цієї культури.

Оцінка біоенергетичної продуктивності сорго цукрового показала, що його вирощування впродовж 2016–2020 років на чорноземі типовому без внесення добрив забезпечило вихід біоетанолу — 1,9–2,6 т/га, твердого палива — 12,7–15,4 т/га, сумарний вихід енергії — 252–311 ГДж/га. Вирощування гібриду Нектарний збільшило вихід біоетанолу порівняно з сор-

том Силосне-42 — на 0,7–0,9 т/га, сумарний вихід енергії — на 59–78 ГДж/га (табл. 3).

Біоенергетична продуктивність сорго цукрового значно зросла за застосування мінеральних добрив. За дози N60P60K60 вихід біоетанолу у сорту Силосне-42 становив 2,1 т/га, твердого палива — 13,9 т/га, сумарний вихід енергії — 276 ГДж/га; гібриду Нектарний — відповідно 2,8 т/га, 16,8 т/га та 338 ГДж/га. Помірна доза мінеральних добрив збільшила сумарний вихід енергії на 24–27 ГДж/га.

Збільшення дози добрив до N90P90K90 підвищило вихід біоетанолу порівняно з контролем без добрив — на 0,6 т/га, твердого палива — на 3,5–4,1 т/га, сумарний вихід енергії — на 66–69 ГДж/га. За вирощування гібриду Нектарний сумарний вихід енергії порівняно з сортом Силосне-42 був вищим на 72 ГДж/га за абсолютного показника 393 ГДж/га.

За дози добрив N120P120K120 сорго цукрове досягло максимальної біоенергетичної продуктивності: вихід біоетанолу — 2,9–3,7 т/га, твердого палива — 18,8–22,2 т/га, сумарний вихід енергії — 373–446 ГДж/га. На високому фоні удобрення гібрид

Нектарний забезпечив максимальні біоенергетичні параметри зі зростанням сумарного виходу енергії до сорту Силосне-42 — на 73 ГДж/га, до контролю без добрив — на 135 ГДж/га. За рахунок мінеральних добрив зростання сумарного виходу енергії було у 1,9 рази вищим, ніж за рахунок гібриду.

Висновки

1. В умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому сорго цукрове позитивно відгукується на внесення мінеральних добрив. Застосування добрив збільшило накопичення цукрів у стеблах рослин у фазі воскової стиглості — на 0,5–2,3%, врожайність біомаси — на 3,0–18,1 т/га, вихід біоетанолу — на 0,2–1,1 т/га, твердого палива — на 1,2–6,8 т/га, сумарний вихід енергії — 24–135 ГДж/га.

2. Максимальну біоенергетичну продуктивність сорго цукрового отримали за вирощування гібриду Нектарний та внесення дози мінеральних добрив N120P120K120: вихід біоетанолу — 3,7 т/га, твердого палива — 22,2 т/га, сумарний вихід енергії — 446 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив — на 1,1 т/га, 6,8 т/га та 135 ГДж/га, відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Влащук А. М., Войташенко Д. П., Демченко Н. В. Продуктивність сорго багаторічного в умовах зрошення південного степу України. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2013. Вип. 19. С. 21–22.
2. Гелетуца Г. Г., Железна Т. А., Тишаев С. В. та ін. Концепція розвитку біоенергетики в Україні. Ін-т теплофізики НАН України, 2001. 14 с.
3. Григоренко Н. О. Цукрове сорго дає високі й стабільні врожаї зерна та зеленої маси за складних кліматичних умов. Зерно і хліб. 2011. № 3. С. 48–49.
4. Дукач В. Н. Технологические особенности возделывания сахарного (кормового) сорго. Агровісник України. 2009. № 6. С. 7–13.
5. Малиновский Б. Н. Сорго на Северном Кавказе. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1992. 200 с.
6. Методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України / О. М. Ганженко, Л. А. Правдива, Я. Д. Фучило, О. Б. Хіврич, П. Ю. Зиков, М. Я. Гументик, Г. С. Гончарук, В. М. Смірних, Ю. П. Дубовий, О. М. Атаманюк, О. Г. Іванова, В. Л. Гамандій, О. В. Яланський. — К.: ЦП КОМПРИНТ, 2020. — 20 с. ISBN978-617-8007-00-3
7. Собко О. О., Філіпів І. Д. Ефективність добрив залежно від густоти посіву сорго в умовах зрошення. Вісник с.-г. науки. 1978. № 9. С. 28–32.
8. Шепель Н. А. Сорго. Волгоград: Комитет по печати, 1994. 448 с.

АНОТАЦІЯ

УДК 663.63:631.81

Вплив доз добрив на біоенергетичну продуктивність сорго цукрового

Іваніна В. В., Сипко А. О., Стрілець О. П., Зацерковна Н. С., Сінчук Г. А., Іванова О. Г., Коритник Р. М., Копчук К. М.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (ІБКІЦБ НААН), вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна.

Встановлено, що сорго цукрове, за вирощування в умовах недо-

статнього зволоження на чорноземі типовому, позитивно відгукується на внесення мінеральних добрив. Застосування добрив збільшило накопичення цукрів у стеблах рослин у фазі воскової стиглості — на 0,5–2,3%, врожайність біомаси — на 3,0–18,1 т/га, вихід біоетанолу — на 0,2–1,1 т/га, твердого палива — на 1,2–6,8 т/га, сумарний вихід енергії — 24–135 ГДж/га. Максимальної біоенергетичної продуктивності сорго цукрового досягли за вирощування гібрида Нектарний та внесення N120P120K120: вихід біоетанолу — 3,7 т/га, твердого палива — 22,2 т/га, сумарний вихід енергії — 446 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив — на 1,1 т/га, 6,8 т/га та 135 ГДж/га, відповідно.

Ключові слова: сорго цукрове, мінеральні добрива, біоенергетична продуктивність.

ABSTRACT

UDC663.63: 631.81

Effect of fertilizer doses on bioenergy productivity of sugar sorghum

Ivanina V. V., Sypko A. O., Strilets O. P., Zatserkovna N. S., Sinchuk H. A., Ivanova O. H., Korytnyk R. M., Kopychuk K. M.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine.

It was found that sugar sorghum for growing in conditions of insufficient moisture on typical chernozem responds positively to the application of mineral fertilizers. The use of fertilizers increased the accumulation of sugars in plant stems in the phase of wax ripeness by 0.5–2.3%, biomass yield by 3.0–18.1 t/ha, bioethanol yield by 0.2–1.1 t/ha, solid fuel by 1.2–6.8 t/ha, total energy yield by 24–135 GJ/ha. The maximum bioenergy productivity of sugar sorghum was reached by growing hybrid 'Nektarnyi' and applying N120P120K120. The yield of bioethanol was 3.7 t/ha, solid fuel 22.2 t/ha, total energy yield 446 GJ/ha with excess of control without fertilizers by 1.1 t/ha, 6.8 t/ha and 135 GJ/ha, respectively.

Keywords: sugar sorghum, mineral fertilizers, bioenergy productivity.